

PHOTOMETRIC AND INTERFEROMETRIC INVESTIGATIONS OF THE THERMOSPHERE IN MID-LATITUDE (測光器お よび干渉分光計を用いた中緯度における熱圏の研究)

著者	岡野 章一
号	849
発行年	1986
URL	http://hdl.handle.net/10097/24893

氏名・（本籍）	おか の しょう いち 岡 野 章 一
学 位 の 種 類	理 学 博 士
学 位 記 番 号	理第 8 4 9 号
学位授与年月日	昭 和 61 年 12 月 24 日
学位授与の要件	学位規則第 5 条第 2 項該当
最 終 学 歴	昭和45年3月 東北大学理学部卒業
学 位 論 文 題 目	PHOTOMETRIC AND INTERFEROMETRIC INVESTI - GATIONS OF THE THERMOSPHERE IN MID-LATITUDE (測光器および干渉分光計を用いた中緯度における熱圏の研究)
論 文 審 査 委 員	(主査) 教 授 大 家 寛 教 授 田 中 正 之 教 授 福 西 浩 助 教 授 斎 藤 尚 生

論 文 目 次

Acknowledgement

Chapter 1. Introduction

Chapter 2. Instrumentation and Method of Analysis

PART I Thermospheric Temperatures

Chapter 3. Thermospheric Temperatures during Geomagnetically Quiet Periods

Chapter 4. Thermospheric Temperature Response to an Isolated Substorm

Chapter 5. Thermospheric Temperatures during Geomagnetically Disturbed Periods

Chapter 6. Thermospheric Temperatures during the July 5, 1978 Storm :

A Possible Existence of the Nonthermal Atomic Oxygen

PART II Stable Auroral Red Arcs

Chapter 7. Photometric and Interferometric Observations of the SAR Arc Event of September 25/26, 1978

Chapter 8. SAR Arc and Concurrent Auroral Electrojet Activity

Chapter 9. Observations of a SAR Arc Associated with an Isolated Substorm

Chapter 10. Observations of Soft Electron Flux during SAR Arc Event

Chapter 11. Summary and Conclusions

論文内容要旨

第1章 序 論

地磁気擾乱時に熱圏大気温度が上昇することは、1959年に人工衛星の軌道変化によって始めて実証されて以来、超高層物理学の大きな主題のひとつである。これは熱圏の擾乱が全地球的規模で超高層大気に影響を与えるという現象論的な意味をもつのみでなく、太陽・地球間の複雑なエネルギー結合系の重要な一環となっているためである。高度150 km以上の熱圏大気にとって第一義的な加熱源は極端紫外域の太陽輻射であるが、地磁気擾乱時には磁気圏からの降下荷電粒子による加熱および磁気圏電場起因する電離層電流によるジュール加熱が生じ、これらによる加熱率は太陽極端紫外輻射によるそれをときとしてうわまわることもある。これらの他に地磁気擾乱時に中緯度で起こりうる磁気圏から熱圏へのエネルギー流入の形態として次の二点が考えられる。第一は O^+ イオンの流入である。地磁気嵐時の中緯度における O^+ イオン束は10年以上以前に発見され、それが熱圏大気に及ぼす効果についても理論的予測はなされているが、実証された例は未だに見られていない。第二の磁気圏・熱圏間のエネルギー結合の形態は、顕著な光学現象としてみることもできる、Stable Auroral Red (SAR) アークである。IGY期間中の発見以来SARアークは多くの観測がなされ、またその生成機構についてもいくつかの理論が提出されているがSARアークに伴う熱圏温度の上昇について明かな結果は未だに報告されていなかった。

本論文の目的は、以上に述べられた磁気圏・熱圏間のエネルギー結合の様相を実証的に明らかにすることにある。

上記の地磁気擾乱に伴う熱圏大気の擾乱の様相は、電離圏F領域の酸素原子(O^1D)が発光する630 nm 輝線強度の測光器による測定および高分解能干渉分光計による輝線輪郭の観測から導かれる発光層温度の測定によって知ることができる。本研究では、微弱光の測定のために開発したマルチプルゾーンアパーチャーを用いたファブリー・ペロー干渉分光計および子午面走査型多色測光器による観測を米国東部ニューヨーク州において1978年—1979年にかけて行った。

本論文の内容は次のように構成されている。即ち、第2章において観測に用いた装置および温度測定法について述べ、以下第3章から第6章までで構成される第I部では地磁気擾乱に伴う大気加熱への熱圏大気温度の応答について議論する。第7章から第10章までで構成される第II部においてはSARアークについての観測結果を述べる。最後に第11章で各章での結論を要約する。

第2章 装置及び解析方法

ファブリー・ペロー干渉分光計は熱圏大気温度の測定に有力な観測装置であるが、微弱な大気発光現象の測定にあたっては光量の不足のために長い積分時間を要していた。これを克服するために本研究では、通常用いられるピンホールスリットに替えて、連続した次数の干渉フリンジを同時に通過させて光量増大をはかるためのマルチプルゾーン・アパーチャーを設計、製作し口径

15cmのファブリー・ペロー干渉分光計に適用した。設計の過程において、分解能と通過光量の最もよい妥協として熱圏大気温度の測定に最適なアパチャー幅が存在することが明らかにされた。またマルチプルゾーン・アパーチャーの製作に伴う設計値からのずれが観測結果におよぼす影響についても考察を加えた。中心のピンホールに加え10本のゾーンをもつマルチプルゾーン・アパーチャーを製作して実際に得られた結果では約10倍の光量増大がみられた。本章においては、またファブリー・ペロー干渉分光計で得られた輝線輪郭から発光層温度を導出する解析方法ならびに測定誤差についても詳述した。

第 I 部 熱圏温度

第 3 章 地磁気静穏時の熱圏温度

地磁気活動度指数 $K_p \leq 2$ の地磁気静穏時における夜間熱圏温度は、測定誤差の範囲内で、半経験的な大気モデルとして知られている MSIS モデルに一致することが確かめられた。

第 4 章 孤立したサブストームに対する熱圏温度の応答

本章では1978年9月2日（UT; 世界時）に発生した孤立したサブストームに伴う熱圏温度の変動を、フォートチャーチル子午線に沿った地磁気観測点群のマグネットグラムの解析から求めたオーロラジェット電流の変動と比較することによって、オーロラサブストームに伴う典型的な熱圏温度の応答を明らかにした。即ち、西向きオーロラジェット電流の増大に対して6°赤道側の熱圏では、約1時間の遅れを伴って400°Kもの温度上昇がみられた。

第 5 章 地磁気擾乱時の熱圏温度

本章では、5回の地磁気擾乱時に得られた熱圏温度の変動を、オーロラ活動度指数（AL, AU）およびAL, AUへの寄与観測点から推測されるオーロラジェット電流の最大強度の経度方向位置と併せて論ずることにより、オーロラジェット電流の最大強度の場所の光学観測点からの経度方向距離によって熱圏温度の応答がどのように異なるかの検討を行った。その結果西向きオーロラジェット電流の最大強度の位置が光学観測の子午面に最も近い Great Whale River の場合は、オーロラジェット電流の強度が中程度であっても、大きな温度上昇がみられた。これに対し西向きオーロラジェット電流の最大強度の位置が光学観測の子午面から遠く隔たった Narsarsuaq または Leirvogur の場合には前の場合と同程度の温度上昇をもたらすためには更に大きなオーロラジェット電流強度が必要になったことが明らかになった。また温度上昇はオーロラジェット電流強度の増強に対して約1時間程度の遅れをもつことも明らかになった。更に、オーロラ中で測定された温度が顕著な増加を示さないことから、電子降下による加熱はジュール加熱ほど効果的でないことも示された。

第6章 1978年7月5日の地磁気嵐時の熱圏温度：非熱的酸素原子の存在の可能性

1978年7月5日（UT）の地磁気嵐時に観測された異常に幅の広い630 nm輝線輪郭は、単一のGauss型源関数では解釈がつかず、二種の異なったGauss型源関数の組合せで満足に説明された。この事実と、異常に強い発光強度からこの場合の630 nm輝線は、二つの異なった源から発光していることが示唆された。強い可能性は O^+ イオンの降下による大気加熱であり、観測結果はTorr et al. (1982)の理論的予測を支持するものである。

第II部 SARアーク

第7章 1978年9月25/26日のSARアーク現象の測光器および干渉分光計による観測

1978年9月26日（UT）に出現したSARアーク中で測定された温度は、アーク出現から2.7時間後に約200°Kの増加を示した。

第8章 SARアークとオーロラジェット電流活動度

前章で取り扱ったSARアークについての測光器による観測結果とマグネトグラムを用いたオーロラジェット電流の同時観測からSARアークとオーロラジェット電流の間に密接な関連があることが明らかにされた。即ち、①真夜中付近でのアーク出現時には、アークを通る磁力線がオーロラ高度と交わる点は東向きオーロラジェット電流の中心と一致していた。②アーク発光強度の時間変化は、10～20分間の遅れを伴って、西向きオーロラジェット電流強度の時間変化に対応している。③アークは全体として時間とともに赤道方向へ移動したが、オーロラジェット電流が急速に大きく移動したときにはアークも、程度は小さいが、同じ方向への移動を示した。

第9章 孤立したサブストームを伴ったSARアークの観測

本章では、1979年9月27日（UT）に出現したSARアークの二点観測の結果について述べている。二点からの三角測量によりアーク発光中心位置の子午面内での変動が明らかになった。即ち、アーク出現時以降アークが急激に強度を増す期間中アークは急速に赤道方向および下方への移動を示した。またカナダで得られたマグネトグラムによるとアークの出現と同時に孤立したサブストームがアークの極側で開始していることが明らかになった。この事実はふたつの現象の間に物理的な結びつきがあることを強く示唆しているものである。

第10章 SARアーク発生時の低エネルギー電子束の観測

本章では、SAR出現時にはほぼ同位置で人工衛星により観測された低エネルギー電子束について述べている。低エネルギー電子束の最大値は $5.2 \times 10^8 \text{ el/cm}^2 \cdot \text{sec}$ で観測されたアークを発光させるに十分なものであることが明らかにされた。

第11章 要約および結語

本章においては、各章で得られた結論を要約して述べた。

以上のように本研究は、微弱光測定用に新たに開発したマルチプルゾーン・アパーチャーを用いたファブリー・ペロー干渉分光計および測光器による熱圏発光現象の観測から、三種にわたる磁気圏・熱圏間のエネルギー結合、即ち、ジュール加熱、 O^+ イオンの降下およびSARアークに対する熱圏温度の応答に対して新しい観測結果を示した。また、サブストームに伴うオーロラジェット電流とSARアークの関連に関する新しい知見も得ることができた。

論文審査の結果の要旨

岡野章一提出の論文は、測光法、特にファブリペロー干渉計を用いて、超高層大気、特に150～250 kmにおける熱圏で酸素原子が発する 6300 \AA の光のスペクトル観測から、この熱圏上部での、大気温度を計測する研究にかかわるものである。

まず研究は、従来ピンホールを使用していたファブリペロー干渉計に対し、有限の開口を利用するマルチゾーンアパーチャー方式を開発した。これは大口径レンズに対し干渉計に整合する様縞状分割方式で集光を行い、ピンホールの場合の10倍の感度を得る事に成功した。

観測は主として中緯度北端域、地磁気緯度 $50^{\circ} \sim 60^{\circ}$ の領域の北米ゾーンで実施された。まず、地磁気嵐にともなって生ずる熱圏の加熱については、120 km～130 km 高度で生ずるオーロラジェット電流によって、熱圏が加熱する様子が時間的、空間的の分布を含め、定量的に計測された。またスペクトルの構造を詳細に解析した結果、熱圏の加熱は O^{+} イオンの降下によってもたらせられる事が実証された。

さらに研究は、SARアーク (Stable Auroral Red Arc) 現象と熱圏の加熱、温度上昇に進められた。SARアークの発光が、プラズマ圏における熱輸送による加熱現象か、あるいは、エネルギーの比較的高い粒子が降下し、酸素原子の発光をうながすとともに、熱圏を加熱するのか不明であったが、本研究によってSARアークにともなう熱圏の温度上昇は、オーロラ活動と直結するオーロラジェット電流の存在と密接に関連することが明らかになった。

このことは、SARアークの発生も、オーロラの粒子降下と密接にかかわっていて、何らかの粒子降下に起因することが示唆されるようになった。

以上本研究は、著者が自立して研究活動を行うに必要な高度の研究能力と学識を有することを示している。よって岡野章一提出の論文は理学博士の学位論文として合格と認める。